



Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Område Landskapsutveckling

Erosionsproblematik vid dagvattenhantering

– Vegetationens betydelse

Therése Rydsberg

Soil erosion due to Stormwater Management

– The importance of vegetation



Självständigt arbete/Examensarbete/Kandidatarbete 15 hp

Landskapsingenjörsprogrammet

Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

Alnarp 2012

Erosionsproblematik vid dagvattenhantering

- Vegetationens betydelse

Soil erosion and Stormwater management

- The importance of vegetation

Therése Rydsberg

Handledare: Kaj Rolf, SLU, Landskapsutveckling

Examinator: Eva-Lou Gustafsson, SLU, Landskapsutveckling

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Examensarbete för landskapsingenjörer

Kurskod: EX0361

Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet

Examen: Landskapsingenjör/Kandidat

Ämne: Landskapsplanering

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsmånad och -år: November 2012

Omslagsbild: Therése Rydsberg

Serienamn: Självständigt arbete vid LTJ-fakulteten, SLU

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: Erosion, dagvatten, ingenjörsbologi, morän, infiltration

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för Landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap

Område Landskapsutveckling

Förord

Jag vill tacka min handledare Kaj Rolf för introduktionen till ämnet ingenjörsvetenskap och all vägledning under arbetets gång. Jag vill även rikta ett stort tack till min examinator Eva-Lou Gustafsson som besvarat diverse frågor som uppkommit under skrivprocessen. Tack till Emelie Walther, min opponent, som givit mig konstruktiv och feedback på mitt arbete. Jag vill även tacka min familj och mina vänner för ert stöd under min studietid på SLU, Alnarp.

Sammanfattning

Erosion är en ständigt pågående naturlig process som kan bli ett problem när hastigheten överstiger vad som är hållbart för naturmarken eller den urbana miljön. Denna uppsats första del behandlar erosion som naturfenomen och produkt orsakad av människan. Erosionshastigheten och omfattningen påverkas av jordens egenskaper, graden av täckande vegetation och markens lutning samt de naturkrafter som eroderar jorden. Tyngdpunkten i arbetet ligger på erosion i vattendrag. Texten skildrar vidare ingenjörsmetoder som lösningsslag vid släntstabilisering. Ingenjörsmetoder är en byggmetod som grundar sig i växtmaterialens biologiska och tekniska funktioner för att motverka erosion.

Arbetet avslutas med en fallstudie av Rinnebäcksravinen i Värpinge by, Lund, där den teoretiska beskrivningen av erosionsprocesserna och de lösgörande naturfaktorerna appliceras i en faktisk miljö. Rinnebäcksravinen fungerar som recipient och utjämningsmagasin för dagvatten från stora delar av västra Lund. Kraftiga regn resulterar i snabb avrinning från kringliggande ytor och genererar korta men intensiva flödestoppar, vilket leder till kraftig erosion av ravinens väggar.

Genomförda studier och det sammanfattande rapportskrivandet kan konstatera att trots ingenjörsmetodens många positiva egenskaper som metod för släntstabilisering är konstruktionen inte rätt vid alla förhållanden. Erosionsproblematiken i Rinnebäcksravinen grundar sig i de höga flödestopparna och det är där som insatserna för att bevara den speciella landskapsbilden bör ligga.

Abstract

Erosion is a constantly ongoing natural process that can become a problem when the speed exceeds what is sustainable for the urban environment or natural areas. This paper's first section covers erosion as a natural phenomenon and a product caused by man. Erosion rate and extent is influenced by soil characteristics, the degree of vegetation cover, the slope angle and the natural forces that erode the earth. The main focus is on erosion in streams. The text describes further soil bioengineering as a solution method for slope stabilization. Soil bioengineering is a construction method based on the plant material's biological and technical functions to combat erosion.

The thesis concludes with a case study of Rinnebäcksravinen in Värpinge By, Lund, where the theoretical description of the erosion process and the detachment agents are applied in an actual environment. Rinnebäcksravinen functions as the recipient and the retaining reservoir for storm water runoff from large areas of western Lund. Heavy rainfall results in rapid runoff from surrounding surfaces and generates short but high flow peaks, leading to massive erosion of the ravine walls.

Completed studies and the summary report concludes that despite soil bioengineering methods many beneficial properties as for slope stabilization, the construction is not right for all conditions. The erosion problem in Rinnebäcksravinen are based on the high flow peaks and that is where the efforts to preserve the special landscape should be.

Innehållsförteckning

Inledning.....	2
Bakgrund	2
Syfte.....	2
Frågeställning	2
Avgränsning	2
Metod och material.....	3
Erosion.....	4
Jordtäcket	4
Utbredning av jorderosion	5
Jordens egenskaper och naturens krafter.....	6
Partikelstorlek.....	6
Vind, vatten och lutning	8
Dagvatten	11
Ingenjörsmeteorologi.....	12
Vegetationens påverkan.....	12
Ingenjörsmeteorologiska byggmetoder	13
Rinnebäcksravinen	15
Mätning av strömhastighet och vattenflöde i Rinnebäcksravinen 2012-04-26.....	16
Mätresultat.....	18
Diskussion.....	21
Källförteckning.....	24

Inledning

Bakgrund

Erosion är en ständigt pågående naturlig process vilken, på grund av dess dramatiskt landskapsomvandlande förmåga, varit motarbetad av människan sedan hon först började odla jorden. Erosion sker då vatten och vind nöter ner och transporterar jordmaterial. Processerna kan vara långsamma och smygande eller häftiga förlopp. Oskyddad mark utan naturligt vegetationstäckning är mer känslig än jord som binds av vegetation (Eriksson et al. 2005). Erosionsproblematik förknippas främst med jordbruk i tropiska och semi-arida områden, men problem föreligger även i länder belägna i tempererade klimat så som Tyskland, England och Belgien (Morgan, 1986). Användningen av mark blir allt intensivare, den industriella och maskinella utvecklingen gör att omfattningen och tempot ökar (Bergil et al, 2001). Mänskliga aktiviteter i form av jordbruk, skogsbruk, transport och bebyggelse kan leda till en ökad erosionstakt (Gardiner & Miller, 2001), vilket skapar behov av lösningar, inte bara för jordbruket utan också för naturliga (Eriksson et al. 2005) och urbana landområden (Morgan, 1986). I städerna är marken till stora delar täckt av hus, asfalt och andra hårdgjorda ytor vilket resulterar i minskad infiltration och ökad avrinning vid nederbörd. Vid exploatering av naturmark förändras vattnets väg genom landskapet. Stadens hårdgjorda ytor innebär att stora volymer vatten strömmar ut alltför snabbt i VA-ledningar och naturliga vattendrag. Byggnader, infrastruktur och hårdgjorda markytor hindrar dagvatten från att kunna tas upp av växter och infiltreras ner i marken. Erosion är ett resultat som kan uppstå då stora vattenvolymer avleds från den bebyggda urbana miljön (Hedberg et al, 2004). Enligt SMHI har Sveriges klimat blivit både varmare och blötare under de senaste 20 åren (SMHI, 2012). Klimatförändringar och mer extrema regnmängder ökar påfrestningen på dagvattenhanteringen och därmed ökar också erosionsrisken i de naturliga vattendrag dit dagvattnet leds.

Syfte

Syftet med uppsatsen är att skildra erosion som naturföreteelse samt resultat av mänsklig påverkan för att kunna bedöma omfattningen av de erosionsprocesser som pågår i Rinnebäcksravinen och redogöra för ingenjörsbologi som lösningsmetod.

Frågeställning

Vilka faktorer leder till erosion?

Vilken betydelse har vegetationen?

Hur fungerar ingenjörsbologi som släntstabilisering i Rinnebäcksravinen?

Avgränsning

Litteraturstudien kommer att behandla erosionsproblematik till följd av vatten och vind. Erosion kommer att behandlas i stort för att ge en tydlig bild av företeelsen medan tyngdpunkten kommer att ligga på erosion vid vattendrag och slänter. Arbetet är avgränsat till att behandla ingenjörsbologi som lösningsmetod på erosionsproblem. Trots att ingenjörsbologiska byggmetoder har mångskiftande positiva följder, ökad biologisk mångfald är en av dessa, behandlar denna rapport främst dess tekniska egenskaper som erosionsskydd. Studien är avgränsad till en fallstudie av Rinnebäcksravinen i Värpinge by, Skåne. Utöver erosion, är miljöproblem som skapas genom dagvattenavrinning från vägar, industriområden och andra nedsmutsade och förorenade ytor en aktuell fråga när det kommer till dagvattenavrinning från urbana miljöer. Det kommer dock inte att behandlas i detta arbete. Nämnas bör att utsläpp av metaller i dagvatten kanske är det allvarligaste miljöproblemet i samband

med utsläpp av dagvatten till vattendrag, detta eftersom metaller inte bryts ner utan lagras i allt högre koncentrationer i miljön (Hedberg et al, 2004).

Metod och material

Arbetet består av två delar. Den första delen är en litteraturstudie av svensk, engelsk och i viss mån tysk litteratur. Material, litteratur och rapporter har sökts på Sveriges lantbruksuniversitets bibliotek, Alnarp, samt vi sökmotorerna Libris och Primo. I fall då information har insamlats från enklare litteratur har dessa innehållit relevant fakta vilken kommit från trovärdiga källor. I böcker som berör jordens egenskaper är inte sällan erosion enbart ett kortare kapitel och ofta ur jordbruks- eller växtsynpunkt. En stor del av litteraturen i ämnet ingenjörsvetenskap är skriven på tyska. Detta begränsar accessen av information för mig som läsare och författare. Litteratur och litteraturöversikt har sammanställts innan den praktiska fallstudien har genomförts. Vid beräkning av flödet i Rinnebäcksravinen har ytfloktörsmetoden använts, denna metod beskrivs i detalj under kapitlet; Mätning av strömshastighet och vattenflöde i Rinnebäcksravinen 2012-04-26. I den avslutande diskussionen resoneras kring de resultat som framkom vid den okulära besiktningen och praktiska undersökningen i Rinnebäcksravinen.

Erosion

För att kunna motverka erosionsproblematik fordras förståelse kring erosionsprocessen och de mekanismer som inverkar. Väder och vind, jordens uppbyggnad och sammansättning, landskapets utformning och graden av täckande vegetation är alla faktorer som samverkar. I detta kapitel beskrivs jordens egenskaper och de naturprocesser som har effekt på erosionsförloppet. I avsnittet skildras även den globala utbredningen av erosion som naturlig process och mänsklig produkt.

Jordtäcket

En jords förmåga att stå emot påfrestningar från vind och vatten beror delvis på dess ursprung (Eriksson et al. 2005). Uppsatsens skildring av erosionsproblematik tar avstamp i hur jordarterna en gång bildats. Kunskap om den glaciala utvecklingen i det omgivande landskapet ger möjlighet att bättre kunna förstå markens egenskaper. Jordtäcket är en geologisk avlagring med lös struktur som i många fall har uppkommit genom vittring från berggrunden. En vittringsjord kan bilda ett 100 meter tjockt lager som ligger kvar på den plats där bildningen skedde. I Sverige, till följd av inlandsisen, har vittringsjorden skrapats bort och ersatts av isens egna avlagringar. Då isen smälte bort täcktes berggrunden av ett nytt jordtäck och nya landformer (Bergil et al. 2004).

Jordtäckets sammansättning och egenskaper beskrivs genom indelning i olika jordarter. Jordarterna delas in efter uppkomstsätt, textur och innehåll av organiskt material. Mineraljordar och organogena jordar är de två huvudgrupperna. Organogena jordarter består huvudsakligen av organiskt material från delvis nedbruten flora och fauna (Eriksson et al. 2005). Mineraljordar utgör större delen av jordtäcket (Bergil et al. 2004) och delas in i sorterade eller osorterade jordar. Sorterade jordar har många gånger avsatts av vind eller vatten och består av en eller ett par fraktioner med begränsad inblandning andra kornstorlekar. De osorterade jordarna innehåller mer eller mindre alla kornstorlekar och utgörs i Sverige framförallt av morän som avsatts av inlandsisen (Eriksson et al. 2005). Morän är Sveriges vanligaste jordart och täcker 75 procent av landets yta. Mineralkornen varierar från stora block till små lerpartiklar som isen eroderat fria från berggrunden eller dragit med sig från marken under. Morän benämns efter den kornstorlek som dominerar exempelvis till siltig eller sandig morän (Bergil et al. 2004), eller beroende på lerhalt till moränlättilera, moränmellanlera eller styv moränlera (Eriksson et al. 2005). Den sydvästra delen av Skåne utgörs av en blockfattig moränlera. Den höga lerhalten beror på att berggrunden består av lätteroderad kalksten (Bergil et al. 2004). Jordtäcket, i vilket Rinnebäcksravinen skurit ner, består av flera lager morän. Övre partiet utgörs av Baltisk moränlera och det undre av hårt packad bottenmorän. I likhet med övriga områden i sydvästra Skåne är lerhalten i de olika jordlagren hög. I bottenmoränen utgörs dock inte leran av kalksten utan huvudsakligen av skiffer¹. Vilken betydelse dessa jordlager har för erosionsprocessen i Rinnebäcksravinen kommer att behandlas längre fram i arbetet.

¹Eva-Lou Gustafsson universitetsadjunkt SLU Alnarp, samtal den 26 April 2012.

Utbredning av jorderosion

Jordens yta formas av uppbyggande, endogena, processer, vilka med energi från jordens inre, flyttar landmassor, bygger bergskedjor och vulkaner samt orsakar jordbävningar och förkastningar. De uppbyggande förloppen motverkas av nedbrytande, exogena processer. Erosion och vittring bryter långsamt ner berg och mark till små partiklar som slutligen avsätts i världshaven där avlagringarna i sinom tid återigen hårdnar till fast berg. Den bildade berggrunden omvandlas och bildar nya bergskedjor eller bergarter, för att sedan vittra eller erodera till lägre kullar och slutligen ett peneplan i ett evigt kretslopp (Bergil et al. 2004). Med erosion avses den process då väder och vind nöter ner kontinenter och transporterar bort det lösgjorda materialet (Eriksson et al. 2005). Materialtransporten vilken sker av rinnande vatten, vågor, vind, inlandsisar och glaciärer kan vara av längre eller kortare sträckor (Bergil et al. 2004). Begreppet omfattar följaktligen två förlopp, lossande av partiklar och transport av dessa (Ashman & Puri, 2002). Då vind- eller vattenenergin inte längre är tillräcklig inträffar en tredje fas, sedimentering (Morgan, 1986). Alla landskap utsätts i någon grad för denna ständigt pågående del av det geologiska kretsloppet (Ashman & Puri, 2002). Stoff från Gobiöknen avsätts som finkornig lössjord i Kina. Varje dag året runt transporterar Gula floden fem miljoner ton jordslam ut i havet. Partiklar från Klarälven i Värmland avsätts på Karlstadsdeltat vid Värnens mynning vilket har skapat en fantastisk landskapsbild. Klarälven är en före detta istida havsvik där älven nu slingrar sig fram i ett meandrande förlopp. I yttersvängarna undermineras strandbrinken av erosion, vilket resulterar i att de sandiga och siltiga avlagringarna rasar ner i älven och förs vidare med vattnet. I innersvängarna där vattenhastigheten är lägre, sker lagring och uppbyggnad av materialet. Långsamt förflyttas Klarälvens stränder. Förskjutningen kan uppgå till 300 meter på 200 år (Bergil et al. 2004).

Erosionsförloppet kan vara hastigt och härbringa dramatiska konsekvenser eller vara långsamt och smygande men ändå grundligt förändra livsbetingelserna på platsen (Eriksson et al. 2005). I Great Plains, USA, inträffade under 1930-talet ett exempel på vinderosion med katastrofala följder, den så kallade 'Dust Bowl'. Efter en rad torra år med början 1934, fångades jordpartiklar upp av vinden och skapade ett tjockt dammoln bestående av värdefull matjord från regionen, materialet transporterades till New York City och den östra kuststräckan (Ashman & Puri, 2002). I södra och mellersta Sverige finns exempel på odlade sandjordar som drabbats av omfattande erosionsskador vid ett flertal tillfällen där omkring 35 000 ha åkermark har påverkats (Eriksson et al. 2005).

I många områden är erosion och deposition av jord en nödvändighet för jordens bördighet. Ett exempel på detta förhållande kommer från Egypten där jord eroderade från det Etiopiska höglandet vilken sedan deponerades i Nildeltat. Denna process upprätthöll bördigheten av jord för generationer. Konstruktioner av dammar har idag ändrat denna balans (Ashman & Puri, 2002). Erosionsprocessen kan även bero på mänskliga aktiviteter till följd av till exempelvis jordbruk, skogsskövling och bebyggelse (Gardiner & Miller, 2001). I tropiska jordbruksområden är risken för erosion stor på grund av intensiva regn som för med sig jordpartiklar då vegetationstäcket är tunt. Tunt vegetationstäckes kan även bero på överbetning, vilket i Afrika är ett problem. Stora djurbesättningar hålls på små områden där vegetationen betas tills marken är bar och erosionskänsliga ytor har skapats. Ett ytterligare exempel på verksamhet, vilken kan frambringa svårartad erosion i torra savannmiljöer, är avskogning i syfte att skapa betes- och odlingsmarker för odling av exportgrödor (Bergil et al. 2004). I tempererade områden kan yttre tecken på erosion vara mindre dramatiska men jordförluster kan fortfarande ske från jordbruksmark till ekonomiskt betydelsefulla nivåer. Erosion resulterar inte bara i avlägsnande av jordmaterial utan leder också till att jorden blir en besvärlig föroreningskälla i vattendrag (Ashman & Puri, 2002).

Jordens egenskaper och naturens krafter

Erosion beror delvis på med vilken lätthet jordpartiklar lossnar och transporteras av vind, is och vatten till följd av jordens egenskaper, graden av täckande vegetation och markens lutning. Och delvis på förmågan hos de naturkrafter som verkar inom ett viss geografiskt område att erodera befintligt jord. Dessa parametrar samverkar och den kombinerade effekten kan vara betydande. Följande avsnitt beskriver hur jordens egenskaper till följd av textur, organiskt innehåll, aggregatens stabilitet och partiklarnas förmåga att röra sig i förhållande till varandra påverkar erosionsprocesserna.

Partikelstorlek

Vissa jordar är mer känsliga för erosion än andra. En inverkan på en jords förmåga att stå emot påfrestningar från vind och vatten beror på jordens textur, det vill säga mineralkornens kvantitativa kornstorleksfördelning (Ashman & Puri, 2002). Enligt Sveriges geologiska undersökning (SGU) delas mineralkornen in i storleksklasserna block, sten, grus, sand, silt och ler (Eriksson et al. 2005).

Block	Sten	Grus	Sand	Silt	Ler
> 600 mm	60 – 600 mm	2 – 60 mm	0,06 – 2 mm	0,002 – 0,06 mm	< 0,002 mm
		Grovgrus 20 – 60 mm	Grovsand 0,6 – 2 mm	Grovsilt 0,02 – 0,06 mm	
		Mellangrus 6 -20 mm	Mellansand 0,2 – 0,6 mm	Mellansilt 0,006 – 0,02 mm	
		Fingrus: 2 – 6 mm	Finsand: 0,06 – 0,2 mm	Finsilt 0,002 – 0,006 mm	

Atterbergs korngruppsskala delar in mineralkornen i storleksklasserna block, sten, grus, sand, mo mjäla och ler (Eriksson et al. 2005).

Block	Sten	Grus	Sand	Mo	Mjäla	Ler
> 200 mm	20 – 200 mm	2 – 20 mm	0,2 – 2 mm	0,02 – 0,2 mm	0,002 – 0,02 mm	< 0,002 mm
		Grovgrus 6 – 20 mm	Grov sand 0,6 – 2 mm	Grovmo 0,06 – 0,2 mm	Grovmjäla 0,006 – 0,02 mm	
		Fingrus 2 – 6 mm	Mellansand 0,2 – 0,6 mm	Finmo 0,02 – 0,06 mm	Finmjäla 0,002 – 0,006 mm	

Namngivningar ur båda skalorna förekommer i texten. Den väsentligaste skillnaden är att mo som beteckning inte finns med under SGU:s skala, grovmo hör där till sanden och finmo förs tillsammans med mjälan in under silt. Indelningen beror av att egenskaperna hos grovmo och finmo skiljer sig väsentligt från varandra. Grovmo har egenskaper vilka liknar sandens, medan finmo liknar mjälan. Gränsen mellan block och sten skiljer sig även mellan de olika skalorna (Eriksson et al. 2005).

Partiklarnas storlek inverkar över hur lättroderad en jord är och avgör den kapacitet som krävs hos de transporterade krafterna att föra bort det lösgjorda materialet. Jordarter som byggs upp av grus och sten är svåreroderade på grund av den mängd energi som krävs för att förflytta de stora partiklarna (Morgan, 1986). Större fraktioner har svagare bindning mellan mineralkornen än mindre fraktioner. Friktionsjordar är benämningen på de jordar vars sammanhållning huvudsakligen beror på mekanisk friktion mellan jordkornen. Sand och grus är sådana jordar. I en sandjord av enkelkornstruktur utgörs jorden av primärpartiklar som inte i någon större grad är förenade med varandra. Kornen är stora och kohesionen mellan dem är svag (Eriksson et al. 2005). Stabiliteten i en slänt bestående av friktionsjord påverkas av lutningen. Vid en viss vinkel kommer partiklarna börja rulla över varandra och ras kan uppstå (Statens geotekniska institut, 2012). Leriga jordar benämns kohesionsjordar och har till skillnad från sandjordar stark sammanhållning mellan mineralkornen till följd av lerets ringa storlek. Ler är en partikelstorlek som är mindre än 2 µm och leriga jordar innehåller mellan 5 till 15 procent av korn ur denna storlekklass. Kohesionen ökar med finkornigheten, ju finkornigare jordart desto starkare kohesion. En torr lerig jord är svår att bryta sönder och svårigheten ökar med lerhalten. Leriga jordar är på så vis, i relation till sand och silt vilka har svagare sammanhållning mellan partiklarna, mer motståndskraftiga mot erosion (Eriksson et al. 2005).

Lera är en jordart som innehåller minst 15 procent ler (Eriksson et al. 2005). Erosionsrisken beträffande lerjordar påverkas av hur stor andel och vilken typ av lerpartiklar som tillsammans med organiskt material bildar aggregat (Morgan, 1986). Stabil aggregatstruktur kan till viss del minska erosionsrisken (Ashman & Puri, 2002). Ju högre lerhalt desto kraftigare utveckling av aggregat och spricksystem (Eriksson et al. 2005). Generellt beror aggregatens stabilitet på vilken typ av lermineral som är dominerande. Illit och smektit bildar lättare aggregat, dock gör dessa mineralers mer öppna struktur aggregaten mer känsliga för nedvätning och torka än aggregat av kaolinit. Samspelet mellan vattenhalten i jorden och den kemiska sammansättningen av både lerpartiklar och vatten är komplex, detta gör det svårt att förutse hur leriga jordar kommer att bete sig. Om jorden blir blöt absorberar mineralpartiklarna vatten vilket gör att de sväller, kohesionen minskar och aggregaten försvagas. Hastig nedvätning kan orsaka att aggregaten kollapsar (Morgan, 1986). Lera kan bli helt flytande om marken utsätts för allt för stor yttre belastning eller på grund av att sammanhållningen mellan partiklarna minskar över tiden. Stabil aggregatstruktur främjas av förutom hög lerhalt, av organiskt material (Eriksson et al. 2005). Mineralpartiklar hopkittade av kolloidpartiklar, det vill säga ler eller humus, är mer svåreroderade (Morgan, 1986).

Silt är ett mellanting mellan en friktions- och en kohesionsjord (Eriksson et al. 2005) och är en erosionskänslig jordart (Morgan, 1986). Silt har stark vattenhållande förmåga och suger snabbt upp vatten genom kapillärkrafterna i de många små porerna. I vattenmättat tillstånd, på grund av den ringa kohesionen, är jorden flytbenägen (Eriksson et al. 2005). Morän är en osorterad jordart med inblandning av större och mindre fraktioner. Olika moräners sammansättning varierar och kornstorlekssammansättningen bidrar i hög grad till jordens egenskaper. Grovkorniga moräner, vilka innehåller

ler mestadels sand och grus, beter sig som friktionsjordar. Finkorniga moräner, ler- och siltmorän, har egenskaper som liknar kohesionsjordar (Statens geotekniska institut, 2012).

Sammanfattningsvis är större partiklar som grus och sten svåreroderade till följd av den mängd energi som krävs för att förflytta partiklarna. Kohesionen mellan lerpartiklar gör finkorniga jordar mer motståndskraftiga mot lösgörande faktorer medan silt och sand är, till följd av storlek och svagare kohesion de jordar som är mest erosionskänsliga (Morgan, 1986).

Vind, vatten och lutning

Föregående stycke har beskrivit vilka partiklar som föreligger risk att erodera, till följd av dess storlek. Nedan beskrivs de lösgörande och efterföljande transporterande processerna och dess omfattning och uttryck i landskapet. Erosionsprocessen är inte sällan komplex och avhängd många olika inverkanselement. Nedan beskrivs även lutningen som påverkande faktor.

Den första fasen i erosionsprocessen innebär att enskilda partiklar lösgörs genom regndroppar, vitt-ringsprocesser, rinnande vatten eller vind (Morgan, 1986). Regn är ett exempel på en lösgörande faktor (Ashman & Puri, 2002). Regndroppar som faller över en bar jordyta kan innebära att partiklar kan kastas iväg flera centimeter (Morgan, 1986). Den andra fasen i erosionsprocessen medför transport av det lösgjorda materialet bort från ursprungsplatsen. Erosion till följd av vatten benämns vattenerosion och genom vind, vinderosion (Eriksson et al. 2005). Gällande vattenerosion sker de transporterande faktorerna antingen relativt jämt över markens ytskikt eller i form av kanaler (Morgan, 1986). Vattenerosion förekommer vid lutande mark och i vattendrag och delas in i yterosion, rännilserosion och ravinerosion. Yterosion innebär att material som ler, mjäla, mo, humus och näringsämnen transporteras över markskiktet och erosionen sker utan att rännilar eller fåror uppstår. Dess mer synliga framfart framgår främst genom sedimenttransport i vattendragen (Eriksson et al. 2005). Jordförflyttning till följd av yterosion beror på vattnets hastighet, hur turbulent flödet är och flödets utbredning över ytan (Morgan, 1986). Yterosionen är en långsam process som kan leda till betydlig markförsämring (Eriksson et al. 2005).

Vattenerosion kan även ske genom vattenflöde i små rännilar eller större mer permanenta inslag i landskapet i form av fåror och raviner (Morgan, 1986). Skillnaden mellan yterosion och rännilserosion är att mer tydliga grunda och smala fåror bildas på marken vid rännilserosion (Eriksson et al. 2005). Dessa fåror är ytliga och försvinner ofta relativt kvickt. Ibland skapas en större rännil som får sitt utlopp i ett vattendrag (Morgan, 1986). Rännilserosion uppstår ofta vid plöjning, lutande mark, intensiva regn eller genom smältvatten och förekommer även på grusvägar med tillräckligt brant lutning (Eriksson et al. 2005).

Vid särskilda hydrologiska förhållanden kan rännilarna fördjupas och skapa raviner (Ashman & Puri, 2002). Raviner är brantkantade vattendrag som under intensiva regn får kortlivade men höga flöden (Morgan, 1986). Dessa är permanenta inslag i landskapet som till skillnad från rännilar inte kan plöjas bort (Ashman & Puri, 2002). Raviner har till skillnad från floder, vilka har en mer jämn konvex profil, avsnitt som är brantare och avsnitt som är flackare. Oftast är raviner djupare och med en smalare bredd. Erosion i raviner kan vara oregelbunden i förhållande till avrinning. Ofta är raviners uppkomst mer komplex än endast utvidgade rännilar. Raviner kan uppstå genom bildandet av små fördjupningar invid sluttningar, till följd av till exempel försvagad vegetationstäckning av bete. Vatten ansamlas i dessa fördjupningar och utvidgar dessa tills de förenas till en begynnande ravin. Erosion sker mestadels i botten av ravinens kanter vilket orsakar underminering av väggarna och leder till att väggarna

kollapsar och att branten backar. Raviner kan också skapas genom att ras och skred skapat ärr vilka kan fyllas med vatten efter regnväder (Morgan, 1986). I Sverige har raviner uppstått i Norrland på mo och mjälajordar där branta dalformationer har skapats. Denna erosionsform är inte så vanlig längre då marken är täckt av skog eller gräsvegetation. Erosion med ravinbildning är mycket vanlig i humida tropiska och subtropiska områden, där resultatet kan bli omfattande markskador (Eriksson et al. 2005).

Rinnande vatten är följaktligen en landskapsomvandlande kraft i väldiga mått. Rinnebäcksravinen vilken beskrivs längre fram har ett meandrande förlopp. Meandring åsyftar vattendrag vars åkrökar blir så stora att de bildar mer än en halvcirkel. Vattendrag i flacka landskap skapar en slingrande fåra som flyttar sig med tiden. Meandringen beror på att strömhastigheten varierar mellan olika delar av vattendraget. I krökarnas ytterkurvor ökar strömhastigheten och därmed också erosionen. I innerkurvorna minskar strömhastigheten och det material som eroderat avsätts. Förloppet skapar ett mer och mer slingrande vattendrag. Vattnet kan vid tillfällen bryta igenom meanderbågen och skapa en liten sjö som inte längre har förbindelse med vattendraget. Företeelsen kallas korvsjö. Om förutsättningar i landskapet finns, med flacka områden och låg vattenhastighet, kan meandringen bli omfattande (Hedberg et al. 2004)

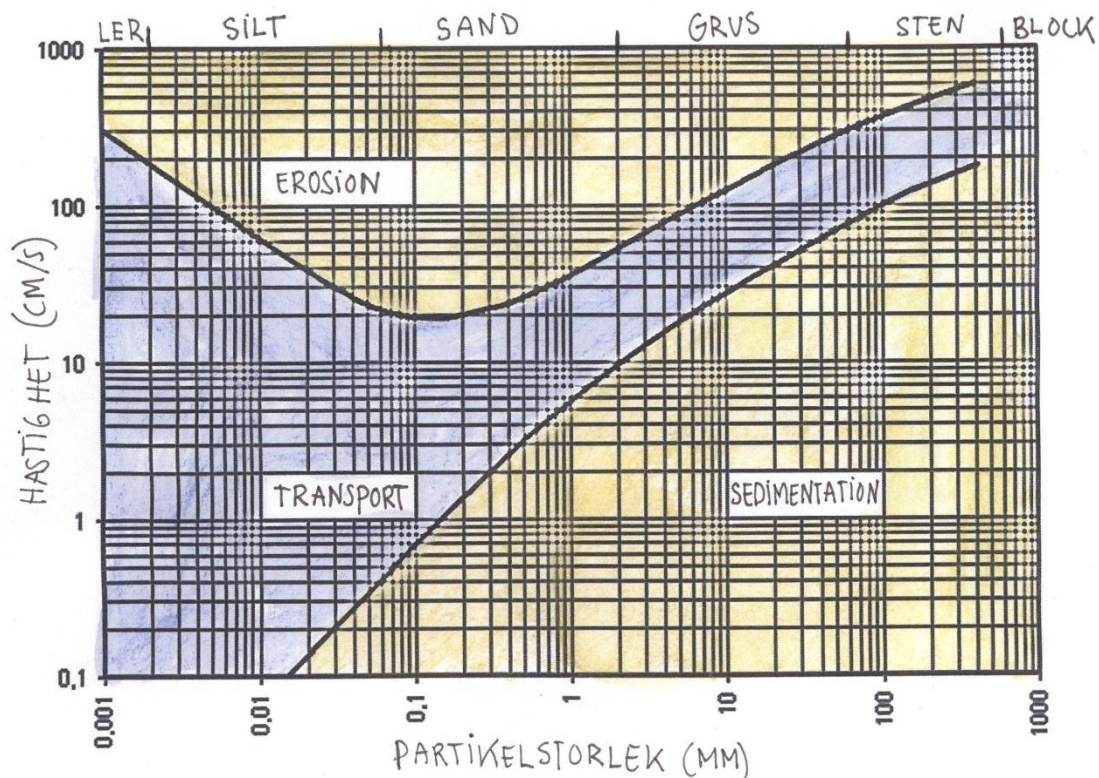
Även vind är en landskapsomvandlande kraft i stora mått. Då marken är torr och bar kan vinden förflytta fint jordmaterial mindre än 1 mm, längre eller kortare sträckor. Då jordmaterialet transporteras på högre höjder kan små partiklar transporteras tusentals kilometer. Partiklar mindre än 0,1 mm transporteras svävande medan de grövre partiklarna transporteras krypande eller hoppande. Materialet avsätts då vinden avtar i styrka (Eriksson et al. 2005). En jords förmåga att stå emot vindens krafter ökar om aggregaten är fuktiga snarare än torra. Fuktig jord är mindre lätteroderad än torr jord men vinderosion är utöver detta relaterad till samma faktorer som påverkar vattenerosion beträffande aggregatstabilitet och partikelstorlek (Morgan, 1986). Marken kan skyddas mot vinderosion genom vegetationstäckning och läplanteringar (Eriksson et al. 2005).

En ytterligare faktor som måste tilläggas utöver vind- och vattenkrafter är sluttningens inverkan (Morgan, 1986). Material längs med slänterna i ett vattendrag, det vill säga korn som befinner sig i ett lutande plan, eroderar lättare jämfört med korn som har ett horisontellt underlag (Andersson et al. 2008). Erosionens krafter är som störst mellan vattendragets botten och strandslätten. En mängd olika krafter samverkar, övertrycket i markens porvatten, marktryck från slätten och det strömmande vattnet (Rolf, 2005).

Vidare beträffande nederbörd som faller över en platt yta och kastar iväg partiklar slumpmässigt åt alla håll, förväntas erosion i en lutning till följd av regn resultera i att jord far nedåt och proportionerna i förhållandet mellan lutning och jord förväntas öka med ökad lutning. En jords erosionsbenägenhet förväntas öka i takt med sluttningens lutning och längd, då till följd av ökad hastighet och volym hos avrinningen. Dock påverkar samspelet med andra faktorer dessa förhållanden. Regnets intensitet påverkar, liksom kornstorlek, sluttningens form och graden av täckande vegetation. Ökad lutning ökar också vinderosionen vid vindsidan av backar och på toppen av kullar (Morgan, 1986).

Erosion i vattendrag

Vattenströmmen begränsas i ett vattendrag av friktionen mot vattendragets slänter och mot botten. Om jordmaterialet inte kan stå emot friktionskraften från vattenströmmen lösgörs partiklar och följer med strömmen (Vägverket, 1987). Om genomsnittshastigheten i vattenströmmen är känd kan Hjulströms diagram användas för att uppskatta erosion, transport och sedimentation i relation till partikelstorleken hos sedimenten (Figur 1). Diagrammet baserar sig på försök med jord av enhetlig fraktion och ett relativt konstant vattendjup (Andersson et al. 2008). På y-axeln finns vattnets flödes hastighet i centimeter per sekund. På x-axeln finns kornstorleken hos partiklarna i millimeter. I diagrammet finns två kurvor. Den övre kurvan beskriver gränsen mellan erosion av sediment och transport. Den understa kurvan beskriver gränsen mellan transport och sedimentation. I den övre kurvan kan utläsas att partiklar kring 0,1 mm i storlek har lättast att erodera (Kangas, 2003). Detta beror på att partiklarna har liten massa, men inte är tillräckligt små för att kohesionen ska vara betydande, större partiklar kräver större kraft för att förflyttas. Då ett enskilt mineralkorn har försatts i rörelse avsätts det inte förrän flödet blir tillräckligt lågt. Dock i jordar med varierande storlek hos mineralkornen är mindre partiklar skyddade av de grövre vilket gör att de inte flyttas förrän flödet är stort nog att ta med sig de större partiklarna (Morgan, 1986). De större partiklarna bildar således ett erosionsstarkt skikt (Gerstgraser, 2000). I praktiken gör detta att flödet som krävs för att erodera partiklar kan skilja sig från Hjulströms diagram (Morgan, 1986).



Figur 1. Hjulströms diagram vilket visar hur sediment beter sig beroende på kornstorlek och vattnets flödes hastighet (Kangas, 2003).

Dagvatten

Allt vatten på jorden ingår i det globala kretsloppet. Vattnet är i oavbruten förändring mellan olika former och tillstånd (Bergil, 2004). Människan har genom tiderna transformerat landskapet genom bebyggelse och resursanvändning och på så sätt förändras vattnets väg (Kangas, 2003). Exploatering av mark blir allt intensivare och den industriella och maskinella utvecklingen gör att omfattningen och tempot ökar (Bergil, 2004). Vid bebyggelse av naturmark avlägsnas eller förändras den naturliga vegetationen. Konsekvensen kan vara förändrade hydrologiska förutsättningar och ökad erosion (Kangas, 2003). Arbetet hittills har beskrivit hur väder och vind påverkar erosionsprocessen i relation till jordens egenskaper och landskapets utformning. Detta avsnitt beskriver urbana miljöers påverkan på vattnets väg genom landskapet och hur erosion kan bli resultatet av dagvattenhantering.

Marken består dels av fast organiskt och oorganiskt material, dels av vatten och däri lösta ämnen och luft (Grip & Rohde, 1994). Det fasta materialet utgör uppbygganden och sammansättningen av porernas storlek och form vilket avgör hur vatten och luft rör sig och uppträder i jorden (Eriksson et al, 2005). Porernas storlek beror delvis på mineralkornens storlek, delvis på dess form och delvis på sammansättningen (Grip & Rohde, 1994). Luft finns i de större porerna, medan vatten finns i de mindre porerna eller bundet direkt på partikelytorna (Eriksson et al, 2005). Om markens porer är helt fyllda med vatten kan ytvatten uppstå. Detsamma kan uppstå om markytans genomsläpplighet är mindre än regnintensiteten eller tillrinnande ytvatten. Vanligen infiltreras vattnet i marken och bildar sjunkvatten och kapillärt bundet vatten för växterna att ta upp (Eriksson et al, 2005). Markens infiltrationsförmåga är i många klimatområden tillräcklig för att all nederbörd i normala fall ska kunna infiltreras i marken (Grip Rohde, 1994).

I städerna är marken till stor del täckt av byggnader, infrastruktur och andra hårdgjorda ytor. Då vattnet inte kan infiltreras ner i marken avleds dagvattnet via brunnar och ledningar snabbt ut i åar och vattendrag. Utsläpp av dagvatten i vattendrag orsakar en mängd miljöproblem. Den snabba avledningen resulterar i stora flödesvariationer med kraftiga dock korta flödestoppar. Det starka flödet orsakar kraftig erosion längst strandbrinkar, vattnet blir grumligt och sedimenttransporten ökar. Eroderat material samt sand- och lerpartiklar från dagvattnet följer med strömmen och kan skada vattenbiotoper och försämma livsförutsättningarna för växter och djur. Vid kraftiga sommarregn då vattenståndet normalt är lågt i de naturliga vattendragen blir dagvattenutsläppen extra tydliga. Hur vatten strömmar genom marken innan det till slut når sjöar och vattendrag har stor betydelse för vattenkvalitén. Föroreningar som följer med dagvattnet då det rinner över markytan, skulle kunna renas under transporten genom marken (Hedberg et al, 2004).

Ingenjörsbologi

I detta kapitel behandlas växters inverkan och betydelse på erosionsprocessen. Vegetation kan både ha positiva och negativa effekter beroende på olika samband och situationer. Avsnittet beskriver vidare ingenjörsbologi som metod att stabilisera slänter. Ingenjörsbologi är en metod som bygger på växtmaterialets biologiska och tekniska funktioner i konstruktioner mot erosion.

Vegetationens påverkan

Erosion till följd av vatten är relaterad till vattnets väg genom landskapet och den täckande vegetationen. Vegetation förhindrar erosion genom att fånga upp regndroppar och minska energin från nederbörden, skapa en ojämn yta vilken minskar vattnets hastighet och genom rötternas mekaniskt förstärka jorden. Trädens rötter har en sammanhållande och stabiliserande effekt av mark genom rötternas nätverk och bindning av jorden (Morgan, 1986). Rotsystemet ökar markens skjuvhållfasthet, partiklarnas förmåga att röra sig i förhållande till varandra och dragfasthet genom förankring i jorden (Rolf, 2005). Erosionen minskar indirekt genom infiltration och ökad evapotranspiration (Kangas, 2004). Välutvecklad aggregatstruktur och makroporer ökar infiltrationsförmågan och minskar avrinningen på vegetationsbäddad mark (Morgan, 1986).

Enligt Morgan (1986) vid försök i Zimbabwe, uppgick medelvärde av den årliga jordförlusten från mark utan vegetation till $4,63 \text{ kg/m}^2$ jämfört med $0,04 \text{ kg/m}^2$ för en gräsbevuxen yta. Analys av två identiska ytor av jord, där över den ena spändes en fin väv med syfte att dämpa effekten av regndroppar genom att låta vattnet falla till marken som en skir dusch, visade att den genomsnittliga förlusten av jord över en tioårsperiod var $126,6 \text{ kg/m}^2$ för den öppna ytan jämfört med $0,9 \text{ kg/m}^2$ för ytan täckt av filt. Effekten av vegetationens inverkan på erosion påverkas av krontakets höjd, vattendroppar som faller från 7 meter kan uppnå 90 procent av dess möjliga hastighet. Regn kan samlas upp på bladens yta, förenas och koncentreras och skapa mer erosiva droppar. Dessa effekter har främst studerats i skogsmark. Studierna visar att ett skyddande krontak reducerar volymen regn som når markytan, dock minskar inte rörelseenergin väsentligt vilken till och med kan öka i jämförelse med icke bevuxen mark. Detta beror på ökningen av stora regndroppar som ett resultat av föreningen av vatten på trädens blad. Regndropparnas erosiva kraft kan alltså öka lösgörandet av material om inte jorden är skyddad av ett markskikt (Morgan, 1986).

Vegetationen skingrar energin av rinnande vatten och vind och minskar därmed erosionen. Dock har studier visat att erosionen från en grästäckt sluttning på 8 grader inte minskar förrän gräset uppnått en viss omfattning och kontinuitet. Trots att gräset reducerar medelhastigheten av flödet skapas strömvirvlar och turbulens nedströms grässtråna (Morgan, 1986). Vid turbulent strömning ökar friktionskraften (Grip & Rohde, 1994). Detta kan leda till att en yta delvis täckt av gräs blir mer erosionskänslig än en yta utan gräs. Då den procentuella grästäckningen når ett visst värde har gräset den förväntade skyddande effekten. Vegetation kan spela en betydande roll för att minska erosionen givet att en tillräckligt stor yta är täckt. Skog är den mest effektiva täckningen, täta gräsytor kan vara nästan lika effektiva dock beroende på graden av täckning över ytan (Morgan, 1986).

Ingenjörbiologiska byggmetoder

Grunden för ingenjörbiologi bygger på samspelet mellan hydrologi, geologi och ekologi. I naturen regleras erosionsprocesser normalt av vegetation. Vid avsaknad av växtlighet och förändrade förhållanden i vattenflödet, till följd av mänskliga aktiviteter, kan ingenjörbiologi återställa förlorade funktioner. Konceptet skapar system som står emot den energi som orsakar erosion (Kangas, 2004). Kaj Rolf (2005) definierar ingenjörbiologi i korthet i sin rapport om Biologiskt Erosionskydd som ett sätt "Att använda växter, och till växterna knutna biologiska processer, i syfte att uppnå en teknisk/biologisk lösning av ett problem." (Rolf, 2005, s. 10). Han poängterar också att ingenjörbiologi (soil bioengineering) inte ska förväxlas med ecological engineering (Rolf, 2005), vilket behandlar hur ekosystem kan konstrueras för att lösa diverse miljöproblem i ett större perspektiv. Ingenjörbiologi ingår således som en subdisciplin inom ämnesområdet ecological engineering enligt Kangas (2004).

Ingenjörbiologi bygger i första hand på användning av växter men innefattar även andra material så som stenar och trä. Geotextil av kokosfiber används för att stabilisera jorden och tillhandahålla växtplats för plantorna (Kangas, 2004). I fall då andra material krävs för att stabilisera mycket branta slänter, det kan vara betong eller stål, används dessa tillsammans med det levande materialet (Rolf, 2005). Så långt det är möjligt bör växter som är naturligt förekommande på platsen (Gerstgraser, 2000) och material som finns i närområdet användas i processen (Rolf, 2005). Träd tas med fördel ifrån omgivningen och byggplatsen istället för att hämtas i en intakt skog (Kangas, 2004). Användandet av växter i konstruering av erosionsskydd skapar mervärden i form av livsmiljöer för djurlivet, ökad vattenkvalité till följd av upptagning av näringsämnen och upplevelsevärden (Kangas, 2004). Träd och buskar som skuggar vattnet är positivt för faunan (Hedberg, 2004). Konventionella metoder för erosionsskydd har kapacitet att stå emot större vattenflöde än vegetation. I vissa fall är ingenjörbiologi ett bra alternativ, i andra fall är konventionella metoder den bästa lösningen. Design och konstruktion är även de begrepp inom ingenjörbiologi även om kärnan är växtmaterialet. Hur en sluttnings konstruktion påverkar erosionen, flackare lutning innebär mindre erosionsrisk.

Vid konstruktion av ingenjörbiologi lämpar sig i mångt och mycket växter av pionjärarter. Dessa är snabbväxande och skapar förutsättning för invandring och etablering av sekundärarter från omgivningen. Sekundärarterna, genom successionsprocessen, skapar sedan långvarig stabilitet. Växter som används inom ingenjörbiologi bör vidare ha egenskaper av den art att de kan bilda stor rotmassa och kunna förökas vegetativt. Växter med adventiva rotanlag kan användas vid många olika konstruktioner eftersom rötter bildas utmed stammen eller som rötter på sticklingar. *Salix* är ett släkte som lämpar sig väl som erosionsskydd i slänter längst vattendrag på grund av dess förmåga att bilda adventivrötter (Gerstgraser, 2000). Grenarna är elastiska och släktet tål översvämningar (Kangas, 2004). Då det vid vattendrag tillfälligtvis förekommer översvämningar krävs växter som tål väta, exempel på detta är många salixarter och *Alnus glutinosa* (Gerstgraser, 2000).

Det finns ett antal olika ingenjörbiologiska byggmetoder. Syftet kan vara att återskapa mer naturliga meandrande vattendrag som tidigare har rätats för att få en snabbare bortledning av vatten. Raka vattendrag får snabba flöden vilket kan leda till erosion och sämre vattenkvalité. Intentionen kan också vara att utforma metoder för att skapa en botten med grund och djuphålor och på så vis vinna minska vattenhastighet och därmed minskad erosion och mer anpassad livsmiljö för livet i vattnet. Konstruktioner finns för användning i själva vattendraget eller utmed vattendragets slänter (Rolf, 2005) och vegetationen kan användas på många sätt. Plantorna kan vara rotade eller sticklingar som utvecklar rötter efterhand som de kommer i jorden. Exemplar kan planteras ensamma eller i grupper

i form av knippen, matt- eller staketliknande formationer vilka ska täcka jorden. Figur 2 nedan visar en sluttning med erosionskydd av sten vid foten och vegetation på den övre delen. Den lägre delen av en sluttning är mest utsatt för de erosiva krafterna och därför är det av vikt att skydda den delen med hållbara material (Kangas, 2004).



Figur 2. Ofta används växter tillsammans med konventionella metoder för släntstabilisering, såsom nyttjande av större stenar vid släntfoten.

För att genomföra ingenjörsmatologiska konstruktioner fordras utrymme och framkomlig mark för exempelvis grävmaskiner. Branta eller underminerade kanter måste rundas av för att sedan stabiliseras med vegetation (Rolf, 2005). Den stabiliserande verkan av ingenjörsmatologiska installationer ökar väsentligt med åldern. Kort efter planteringen är erosionsrisken som störst, först med tilltagande ålder utvecklar vegetationen en fullgod skyddsfunktion (Gerstgraser, 2000). Beroende på metod och växtplats kan utvecklingen till säkert skydd ta några månader till ett par år. Ingenjörsmatologi är en dynamisk byggmetod som förändras över tiden (Rolf, 2005). Ur designsynpunkt måste hänsyn tas till det faktum att systemen kommer förändras till följd av successionen (Kangas, 2004).

Rinnebäcksravinen

Rinnebäcksravinen är en betad dalgång belägen i det skånska åkerlandskapet väster om Lund strax norr om Värpinge by (Lunds kommun, 2011). Ravinen sträcker sig ca 700 meter i nordostlig riktning från Värpinge by. Omgivningen består av bebyggelse i söder, golfbana i nordväst och åkermark i nordost (Lunds kommun, 2003). Ravinen skapades för omkring 13 000 år sedan under inlandsisens avsmältning. Vattenmassorna skar genom marken och skapade fördjupningar i de olika lagren av morän. Berggrunden utgörs av 50 miljoner år gamla danienkalksten.

Fram till 1800-talet brukades ravinen som betesmark och fägata mellan Värpinge by och norr om liggande marker. Hävd genom betning (Lunds kommun, 2011) och de torra slänterna (Naturskyddsföreningen Lund, 2009) har givit förutsättningar för en förhållandevis artrik flora med sällsynta arter såsom gulmåra mandelblom, jordtistel, ängshavre (Lunds kommun, 2011) och det rödlistade busktörnet (Naturskyddsföreningen Lund, 2009). Nere vid bäckfåran återfinns arter med fuktigare ståndorts krav som till exempel bäckveronika, vattenpilört, kavedun, igelknopp och vass. En mängd olika träd och buskar växer i ravinen bland annat hagtorn, fläder, nypon, vildapel, fågelbär och ek (Naturskyddsföreningen Lund, 2009). För att bevara ravinens speciella geologi, flora och öppna landskap är området sedan 2003 Lunds första naturreservat. Rinnebäcksravinen binder samman naturområdet kring Höje å med grönyterna och Folkets Park i de västra delarna av Lund. Närheten till tätorterna gör Rinnebäcksravinen till ett värdefullt grönstråk för friluftsliv och rekreation (Naturskyddsföreningen Lund, 2009).

Själva bäcken som rinner genom byn och vidare ut i Höje å kulverterades både upp- och nedströms 1928. Ravinen fungerar som recipient och utjämningsmagasin för dagvatten från stora delar av västra Lund. Periodvis kraftiga flöden, till följd av stora regnmängder medför risk för erosion längst ravinens kanter (Lund, 2003).



Figur 3. Utlopp för dagvatten i Rinnebäcksravinen.



Figur 4. Kraftig erosion av slänt.

Mätning av strömhastighet och vattenflöde i Rinnebäcksravinen 2012-04-26

I många år i Sverige finns vattenföringsstationer där SMHI kontinuerligt utför mätningar av vattenflödet. Mätningarna görs genom upprättandet av en avbördningskurva, vilken visar sambandet mellan vattenflödet och vattennivån på platsen. Kunskap om storleken på vattenföringen eller flödet är av vikt i många olika sammanhang. Det kan till exempel vara vid beräkning av kvantiteten närsalter som transporteras med vattendraget ut till havet. I denna uppsats har ytfloppmetoden enligt Åmansboken använts för att få fram den ungefärliga vattenföringen i Rinnebäcken vilken saknar vattenföringsstation. Metoden är enkel och kräver ingen specialutrustning. Metoden innebär att vattenföringen är lika med tvärsnittsarean i vattendraget multiplicerad med vattnets medelhastighet förbi tvärsnittet. Strömhastigheten beräknades genom att ett flytande föremål, flottören, i detta fall en liten brädbit, placerades i vattnet och fick flyta en uppmätt sträcka på 4,5 meter. Tiden mättes för att få fram medelhastigheten. Vattenföringen beräknades genom ekvation 1 (se sid. 17) för att kunna ge en bild av den vattenvolym som ravinen tar emot från omkringliggande avrinningsområde (Hedberg et al, 2004).

Hydrauliska beräkningar vilka utförs på regelbundna, raka, längre vattendrag med jämn botten och oföränderliga flöden är relativt enkla (Andersson et al. 2008). I Rinnebäcken varierar geometrin i det meandrande vattendraget och botten är relativt ojämna vilket måste tas i beaktande vid analys av resultaten. Ytfloppmetoden är en väldigt förenklad metod och mätnoggrannheten blir stor. Dock ger det en bild av situationen i Rinnebäcksravinen. I diskussionen kan utläsas de slutsatser som drags av dessa resultat.

Utförande

Utrustning som användes vid undersökningen var tidtagarur, tumstock och flottör. Flottören utgjordes av en liten brädbit enligt Åmansbokens anvisningar.

1. En sträcka på 4,5 meter mättes upp i vattendraget där botten var relativt jämn. Sträckan markerades med pinnar.
2. För att räkna ut tvärsnittsarean mättes bredden vid vattenytan på tre platser, djupet mättes på fem ställen med jämna mellanrum tvärs över vattendraget, se tabell 1.

3. Medelvärde av de uppmätta djupen multiplicerat med bredden ger tvärsnittsareorna.
4. Strömhastigheten mättes genom att en brädbit placerades i vattnet en bit uppströms den uppmätta sträckan. Flottören förlades i mitten av strömfåran där vattengastigheten är som störst (Hedberg et al, 2004). Tiden mättes från det att flottören förflyttades från början av den uppmätta sträckan till slutet. Mätningen upprepades två gånger och gav värdena $t_1 = 24$ sekunder och $t_2 = 27$ sekunder.

Tabell 1. Översikt över bredd, djup och area på den uppmätta sträckan

	Bredd	Djup 1	Djup 2	Djup 3	Djup 4	Djup 5	Medeldjup	Tvärsnittsarea
1.	2	0,25	0,22	0,19	0,18	0,15	0,198	0,396
2.	1,8	0,20	0,21	0,22	0,15	0,10	0,176	0,317
3.	2,5	0,09	0,10	0,11	0,10	0,08	0,096	0,24

Beräkningar av medeldjup, tvärsnittsarea samt medelvärde för tvärsnittsareorna

Medeldjup:

$$(0,25 + 0,22 + 0,19 + 0,18 + 0,15) / 5 = 0,198$$

$$(0,20 + 0,21 + 0,22 + 0,15 + 0,10) / 5 = 0,176$$

$$(0,09 + 0,10 + 0,11 + 0,10 + 0,08) / 5 = 0,096$$

Tvärsnittsarea:

$$0,198 \times 2 = 0,396$$

$$0,176 \times 2 = 0,317$$

$$0,096 \times 2 = 0,192$$

Medelvärde för tvärsnittsareorna, A_{medel}

$$(0,396 + 0,317 + 0,24) / 3 = 0,32$$

Vattenföringen beräknandes genom följande formel:

$$V_{max} = l / t \quad (1)$$

$$Q = k \times V_{max} \times A_{medel}$$

$$V_{max} = \text{vattnets hastighet}$$

$$l = \text{längden (i meter) längst den uppmätta sträckan}$$

$$t = \text{tiden (i sekunder) det tar för flottören att flyta den uppmätta sträckan}$$

$$Q = \text{vattenföringen (i m}^3\text{/sek)}$$

k = koefficient vars storlek beror på bottens utseende

Något ojämn botten med sten: k = 0,6

A_{medel} = medelvärde av tvärsnittsareorna (m^2)

1. $V_{max} = l/t$

$$Q = k \times V_{max} \times A_{medel}$$

$$l = 4,5$$

$$t_1 = 24$$

$$A_{medel} = 0,32$$

$$V_{max} = 4,5 / 24$$

$$V_{max} = 0,1875$$

$$0,6 \times 0,1875 \times 0,32 = 0,036$$

$$Q_1 = 0,036 \text{ m}^3 / \text{sekund}$$

2. $V_{max} = l / t$

$$Q = k \times V_{max} \times A_{medel}$$

$$l = 4,5$$

$$t_1 = 27$$

$$A_{medel} = 0,32$$

$$V_{max} = 4,5 / 27$$

$$V_{max} = 0,17$$

$$0,6 \times 0,17 \times 0,32 = 0,033$$

$$Q_2 = 0,033 \text{ m}^3 / \text{sekund}$$

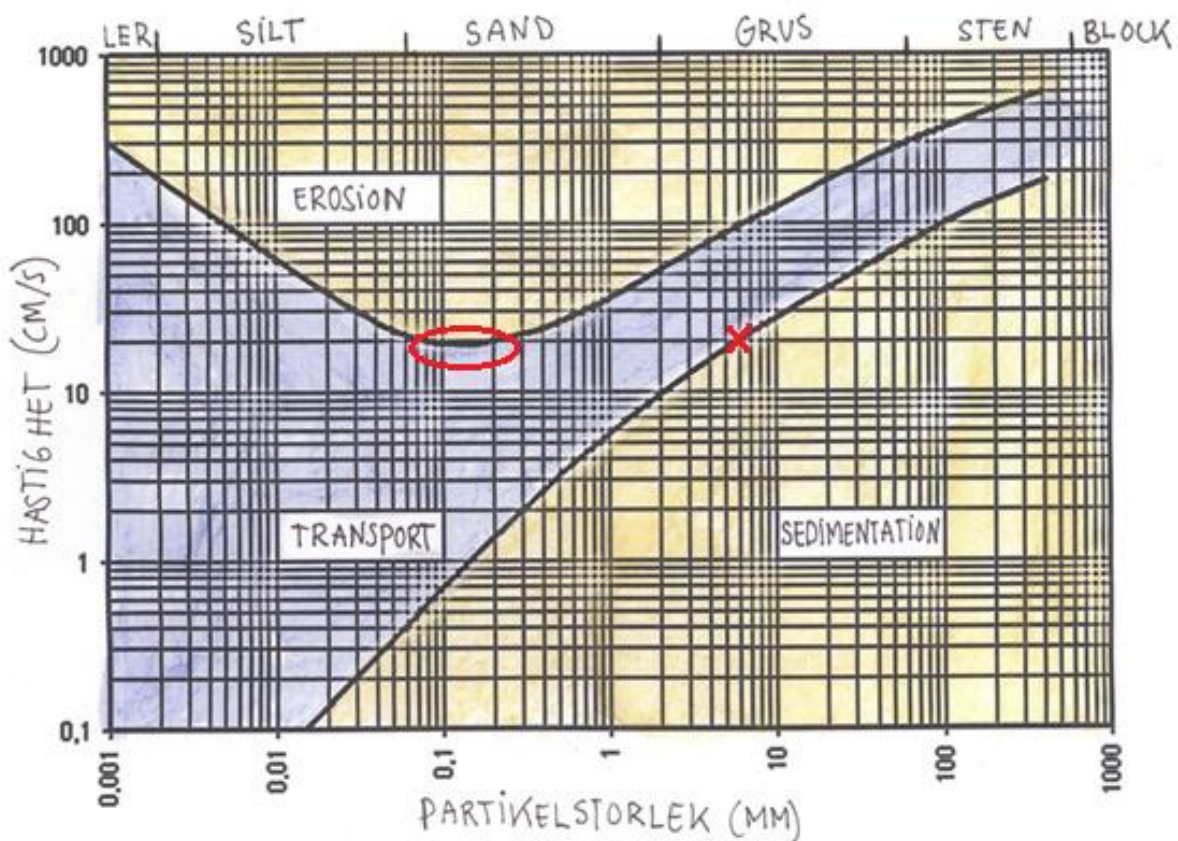
Medelvärde av Q_1 och Q_2

$$(0,036 + 0,033) / 2 = 0,035$$

Mätresultat

Utifrån ovan gjorda beräkningar kan utläsas att flödet i Rinnebäcken är $0,035 \text{ m}^3$ per sekund. Strömshastigheten och flödet mättes då det, enligt SMHI:s analys av dygnsnederbörd, den 26 april hade regnat 1-3 mm. Föregående dag, den 25 april, låg nederbörden på mellan 5-10 mm. Lokala differenser kan förekomma vilket också bör tas i beaktande (SMHI, 2012-04-26). Vid analys av resultaten bör även tas i beaktande att strömshastigheten har mätts i mitten av strömfåran där vattenhastigheten är som störst.

Strömhastigheten räknas ut, som visas ovan, genom att ta längden på den uppskattade sträckan dividerad med tiden. I fall 1 ger uträkningen en hastighet på 18,75 cm/sekunden och i fall 2 en hastighet på 17 cm/sekunden. Dessa uppskattade värden är ungefärliga och ger en uppfattning om vattnets hastighet i ravinen. Utifrån Hjulströms diagram kan utläsas att vid en strömhastighet på 20 cm/sekund kommer alla partiklar mindre än 5 mm fortsätta med vattnet om de redan är i rörelse och partiklar större än 5 mm kommer att sjunka till botten. Endast de enklast eroderande partiklarna kommer att lossna, det vill säga partiklar i storleksintervallet 0,06 och 0,2 mm, se figur 5 nedan. De uppmätta strömhastigheterna på 18,75 cm/sekund och 17 cm/sekund ligger i närheten av 20 cm/sekund och utifrån den något oprecisa mätmetoden sker uppskattningsvis erosion, transport och sedimentation i Rinnebäcken inom samma intervall. Detta skulle i så fall betyda att sand, vilken enligt SGU:s korngruppsskala på sidan 5 är fraktionen mellan 0,06 och 0,2, är den partikelstorlek som eroderar och transporteras i Rinnebäcken vid det aktuella flödet. Hjulströms diagram baserar sig dock på försök med sand av enhetlig fraktion och ett relativt konstant vattendjup. I praktiken gör detta att den flödes hastighet som krävs för att förflytta material kan skilja sig från värdet i diagrammet.



Figur 6. Erosion, transport och sedimentation vid en strömhastighet på 20 cm/sekund.

Vattendraget är meandrande vilket innebär att i krökarnas ytterkurvor ökar strömhastigheten och därmed också erosionen. I innerkurvorna minskar strömhastigheten och det material som eroderat avsätts. Vid den okulära besiktning den 26 april 2012 syntes i vattendragets innerkanter partier där sand anrikats. Resultatet ovan, vilket säger att partiklar inom sandintervallet eroderar vid det aktuella flödet, känns då rimligt. Detta betyder att sandpartiklar som lösgjorts transporteras och förflyttas i

det slingrande vattendraget. Dock utgör detta inte ett problem utan problemet ligger i den erosion som sker från strandbrinken då stora sjok lossnar från ravinens vägg och faller ner i bäckfåran. Detta uppstår vid större flöden än det som uppmättes vid testtillfället. Vid den okulära besiktningen syntes längst ravinens vägg en gräns cirka en meter från botten där vattnet vid tidigare tillfälle har gått upp till. Då flödet är kraftigare än vid det uppmätta tillfället betyder det att större partiklar som normalt inte skulle följa med vattnet förflyttas. Även mindre lerfraktioner vilka är starkare bundna av kohe-sionskraften kommer då att erodera. Om stora partiklar flyttas innebär det att mindre partiklar vilka tidigare var skyddade blir frilagda. Vid intensiv avrinning från omkringliggande bebyggelse ökar flödet och resulterar i att stora delar av ravinens botten eroderar, vilket inte hade inträffat om flödet hade varit mindre. Det är således vid kraftiga flöden som ravinens väggar eroderar, vid mindre flöden förflyttas endast sand med strömmen.

Erosionens krafter är som störst mellan vattendragets botten och strandslätten. En mängd olika kraf-ter samverkar, övertrycket i markens porvatten, marktryck från slätten och det strömmande vattnet. Risken ligger i att Rinnebäcksravinens kanter gröps ur och formen blir som ett rör vilket orsakar un-derminering av väggarna och leder till att väggarna kollapsar och att branten backar. Ravinens botten utgörs av bottenmorän vilken är hårt packad. Teoretiskt skulle detta betyda att ravinens botten är mer motståndskraftig mot erosion, inte bara beroende på packningsgraden och kohesionen mellan de små lerpartiklarna, vilka ingår i jordarten, utan också beroende på det faktum att bottenpartiklar inte erodera lika lätt som partiklar i ett sluttande plan.

Diskussion

Jorderosion är en naturlig process men kan bli ett problem när hastigheten överstiger vad som är hållbart för naturmarken eller den urbana miljön. Erosion orsakad av människan kan leda till stora miljökonsekvenser och resultera bland annat i minskad jordbruksproduktivitet, förorening av vattendrag och förstörd livsmiljö för människor, djur och växter. Jord förvandlas då från en värdefull, icke förnyelsebar resurs till en potentiell föroreningskälla. Det moderna samhället sätter en ökad belastning på mark och vattendrag, lösningsmetoder för erosion bör därför grunda sig i kunskap och utifrån goda exempel runt om i världen.

Erosion beror delvis på med vilken lätthet jordpartiklar lossnar och transporteras av vind, is och vatten till följd av jordens egenskaper samt graden av täckande vegetation och markens lutning och delvis på förmågan hos de naturkrafter som verkar inom ett viss geografiskt område att erodera befintligt jord. Dessa parametrar samverkar och den kombinerade effekten kan vara betydande. Erosionsprocessen är inte sällan komplex. Erosion till följd av regn, rinnande vatten och vind tar sig olika uttryck i landskapet och för att kunna bedöma erosionsrisken fordras kunskap både om jordens beskaffenheter och de naturkrafter som lösgör och transporterar material. Omständigheterna kan vara sådana att eroderbart material finns på platsen, men inte de lösgörande och transporterande faktorerna och då blir erosionen begränsad. Likaså begränsas erosionen om vattenflödet eller vinden har kapaciteten att transportera material men partiklarna är för stora eller för hårt bundna till varandra för att erodera.

Större partiklar som grus och sten är svåreroderade till följd av den mängd energi som krävs för att förflytta partiklarna. Kohesionen mellan lerpartiklar gör finkorniga jordar mer motståndskraftiga mot lösgörande faktorer medan silt och sand är, till följd av storlek och svagare kohesion, de jordar som är mest erosionskänsliga. Hjulströms diagram kan användas för att uppskatta erosion, transport och sedimentation i vattendrag i relation till partikelstorleken hos sedimenten. I beaktande bör tas att diagrammet baserar sig på försök med jord av enhetlig fraktion och ett relativt konstant vattendjup. I praktiken gör detta att flödet som krävs för att erodera partiklar kan skilja sig från Hjulströms diagram. I jordar med varierande storlek hos mineralkoren är mindre partiklar skyddade av de grövre, vilket gör att de inte flyttas fören flödet är stort nog att ta med sig de större partiklarna. De större partiklarna bildar således ett erosionsstarkt skikt.

Byggprocessen förändrar ständigt den fysiska miljön. Starka exploateringsintressen gör anspråk på större områden och ofta kolliderar bevarande intressen. Hur och till vad ska marken användas? Bebyggelsen kring Rinnebäckravinen smyger sig närmare och närmare. Kan Rinnebäckravinen vara både dagvattenrecipient och naturvård- och friluftslivsområde? För att bevara ravinens speciella geologi, flora och öppna landskap är området sedan 2003 naturreservat vilket är mycket populärt hos lundaborna. Det är av vikt att skydda miljön från påfrestning från dagvattenhantering då alltför branta kanter till följd av erosion skulle göra platsen otillgänglig. För att skapa en hållbar utveckling i Rinnebäck måste hänsyn tas till de markförhållanden som råder.

Mark och vatten hör samman. Vatten i olika former är oupphörligt närvarande i de förlopp som formar och förändrar landskapsbilden. Flödet i Rinnebäckravinen fungerar som både lösningsmedel och transportmedel och är tidvis högt. I sammanhanget är det viktigt att förstå hur både vatten och jord beter sig. Den genomförda mätningen av strömhastigheten och flödet i ravinen hade fått ett mer tillförlitligt resultat om det genomförts vid flera tillfällen. Givet tidsramen för arbetet fanns dock inte

möjlighet för detta. Ravinens väggar eroderar kraftigt till följd av de korta men intensiva flödestopparna från omkringliggande bebyggelse och den sparsamma vattenvegetationen är även en indikation på vattnets hastighet. Det är dock inte bara flödet som skapar erosion i Rinnebäcksravinen, utan också regndroppar drar med sig jord när de träffar de öppna såren varifrån brinken eroderat.

Vegetation är positivt på flera vis i erosionssammanhang. Vegetation förhindrar erosion genom att fånga upp regndroppar och minska energin från nederbörden, skapa en ojämn yta vilken minskar vattnets hastighet och genom rötterna mekaniskt förstärka jorden. Trädens rötter har en sammanhållande och stabiliserande effekt av mark genom rötternas nätverk och bindning av jorden. Välutvecklad aggregatstruktur och makroporer ökar infiltrationsförmågan och minskar avrinningen på vegetationsbeksidd mark, erosionen minskar indirekt genom infiltration och ökad evapotranspiration. Vegetationens effektivitet är dock avhängd höjden på trädkronan och graden av täckning. Givet vissa förutsättningar kan vegetation förvärja erosionsrisken, vilket kan vara fallet då regn ansamlats på trädens bladyta och faller mot mark utan något markskikt eller i fallet ovan då en yta var delvis täckt av gräs, vilket ökade turbulensen i flödet och därigenom också erosionen. Dessa parametrar är viktiga att känna till vid konstruktioner bestående av växter för släntstabilisering.

Ingenjörsbologi är en byggmetod som grundar sig i växtmateriallets biologiska och tekniska funktioner för att motverka erosion. Metoden är intressant ur den synvinkel att släntstabiliseringen är en levande, naturlig, hållbar form av arkitektur. Inom ingenjörsbologin jobbar konstruktionen med naturen för att övervinna erosionsproblem orsakat av rinnande vatten istället för emot den. Stabila biotoper och system som är självupprätthållande skapas genom användandet av växter. I Sverige är ingenjörsbologin framförallt mest känd på SLU Alnarp. Området är på många vis tvärvetenskapligt och berör metoder, terminologi och expertis från många discipliner så som ekologi, geologi och ingenjörskonst. Ur en landskapsingenjörssynvinkel är ämnet intressant just då det är tvärvetenskapligt och kräver en helhetsbild av sammanhang och annars skilda kunskapsgränar. Intresset ökar för ingenjörsbologi på grund av ökad miljömedvetenhet och ämnet är intressant för vidare forskning. En vinkel att behandla djupare är vilka arter som lämpar sig och hur de skulle kunna kombineras på problemområden för ett svenskt klimat. En annan vinkel att behandla är hur vegetationsbyggnad skulle kunna motverka effekten av ansamling av regndroppar högt upp i trädkronorna vilket kan skapa ännu mera erosiva droppar, flera skikt av vegetation skulle kunna motverka denna effekt.

Trots alla positiva verkningar är ingenjörsbologi troligen inte den bästa lösningen för erosionsproblematiken i Rinnebäcksravinen. Byggmetoden kräver gott om plats för exempelvis grävmaskiner och Rinnebäcksravinen är tämligen otillgänglig. Ravinens kanter är branta och skulle behöva rundas av för att sedan kunna stabiliseras med hjälp av vegetationen. Ett sådant ingrepp skulle förändra landskapsbilden och bäckens slingrande förlopp, vilket gör platsen speciell. Att försöka minska den häftiga avrinningen från de västra delarna av Lund är troligen ett bättre sätt att hantera erosionen i Rinnebäck då problemet grundar sig i de höga flödestopparna. Dagvatten kan tas om hand lokalt på platsen där nederbörden hamnar och sedan ledas ut till någon vegetationsyta, damm eller på annat sätt infiltreras i marken. Metoden benämns LOD, lokalt omhändertagande av vatten och skulle innebära långsammare tillrinning av dagvatten till Rinnebäcksravinen. En annan möjlighet skulle vara någon typ av fördröjningsmagasin för vattnet innan det når ravinen. Detta skulle dock troligen vara en kostsam metod och svår att praktiskt utföra då bebyggelsen ligger tätt inpå ravinen. Framtida klimatförändringar med risk för ökade regnmängder skulle leda till ännu större påfrestning på Rinne-

bäcksravinen. Slutligen är ingen situation lik någon annan vid erosionsproblematik i vattendrag och olika lösningar krävs vid olika tillfällen beroende på de förhållanden som råder.

Uppsatsen baseras dels på en teoretisk litteraturstudie och dels på en praktisk undersökning av Rinnebäcksravinen. Metoden som använts är kvalitativ i den bemärkelse att uppsatsens avsikt är att uttyda och förstå fenomenet erosion. Metoderna som använts har valts med intentionen att på ett tillfredställande sätt kunna besvara den inledande frågeställningen under den tidsram som givits för arbetsprocessen. Det finns ett stort utbud av litteratur i ämnet ingenjörsvetenskap skriven på tyska. Denna fakta har jag endast i viss utsträckning kunnat använda mig av då mina kunskaper i språket är begränsade. Den teoretiska litteraturdelen har till större del sammanställts innan den praktiska undersökningen av Rinnebäcksravinen genomförts. Genomförandet av den inledande teoretiska delen med studier om jordpartiklarna och hur jord uppför sig vid olika naturprocesser har givit en grund för tolkning av de observationer som framkommit vid undersökning av Rinnebäcksravinen. Utifrån detta har slutsatser dragits för hur erosion, transport och sedimentation sker. Diskussionen kring erosionen, vilken pågår i Rinnebäcksravinen, är utifrån min egen bedömning och grundad i inhämtad fakta som sedan applicerats på ravinens förhållanden.

Insamling av data och den okulära besiktningen av erosionen i Rinnebäcksravinen utgör en mindre empirisk undersökning. Denna undersökning hade kunnat bli tydligare och givit mer tillförlitliga uppgifter om mätningen av flödet och strömhastigheten utförts vid flera tillfällen. Mätning av strömhastigheten med hjälp av ytfloktörsmetoden visar endast vattenhastigheten i den punkten där föremålet flyter. Detta gör att hastigheten på den uppmätta sträckan mätts där vattnet flyter som hastigast, alltså i mitten av vattendraget medan erosionen sker i kanterna. Dessa parametrar gör att osäkerheten blir stor och detta bör tas i beaktande vid analys av resultaten. För att undvika detta hade mätning kunnat göras under flera tillfällen under arbetsprocessen och på flera ställen i ravinen. Intressant att ha med i arbetet skulle vara uppgifter om storleken på avvattningsområdet, vilket skulle ge en tydligare bild av den mängd vatten ravinen tar emot. Dock gav inte tidsramen för arbetet utrymme för detta.

Trots att mätresultaten inte är helt tillförlitliga ger det en bild av situationen i Rinnebäcksravinen. Slutsatser som kan dras utifrån denna begränsade undersökning är att erosion sker i Rinnebäcksravinen till följd av de höga flöden som skickas ut i naturområdet.

Källförteckning

- Andersson, M., Lundström, K., Rankka, W. & Rydell, B. (2008) *Erosion och sedimenttransport i vattendrag*. [online] Rapport. Linköping, Statens geotekniska institut. Tillgänglig: <http://www.swedgeo.se/upload/publikationer/Varia/pdf/SGI-V592.pdf> [2012-05-15]
- Ashman, M.R. & Puri, G. (2002). *Essential Soil Science*. Cornwall, Bodmin: Blackwell Publishing
- Bergil, C., Bydén, S., Edman, S., Enkert, B., Jerer, C., Lind, B., Nordström, A., Olsson, M., Sannel, B. & Yrgård, A. (2004). *Mark, Människa och Miljö*. 4. Uppl. Bohuslän´5
- Eriksson, J., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2005). *Wiklanders Marklära*. Lund: Studentlitteratur.
- Gardiner, Duane T. & Miller, Raymond W. (2001). *Soils in Our Environment*. 10. uppl. New Jersey: Prentice Hall.
- Gerstgraser, Christoph. (2000). *Ingenieurbilogische Bauweisen an Fliessgewässern. Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen*. Wien: Österreichischer Kunst- und Kulturverlag
- Grip, H. & Rohde, A. (1994) *Vattnets väg från regn till bäck*. 3. Uppl. Karlshamn: Hallgren & Fallgren Studieförlag AB
- Hedberg, A., Krook, J. & Reuterskiöld, D. (2004). *Åmansboken, vård, skötsel och restaurering av åar i jordbruksbygd*. Landskrona: Wallin & Dalholm AB
- Kangas, Patrick. C. (2003). *Ecological Engineering, Principles and Practice*. Boca Raton: Lewis Publishers
- Lunds kommun (2011). *Rinnebäcksravinen* [online]
Tillgänglig: <http://www.lund.se/Miljo--natur/Naturvard-och-friluftsliv/Naturomraden/Rinnebacksravinen/> [2012-04-19]
- Lunds kommun, Tekniska förvaltningen . (2003) *Bildandet av naturreservatet Rinnebäcksravinen i Lunds kommun*. Skötselplan.
- Morgan, R.P.C. (1986) *Soil Erosion & Conservation*. Hong Kong: Longman Group Limited
- Naturskyddsföreningen Lund (2009). *Dramatisk geologi i Rinnebäcksravinen* [online]
Tillgänglig: <http://www.naturskyddsforeningen.se/kretsar-lan/skane/lund/smultronstallen-n-o/rinnebacksravinen/> [2012-04-19]
- Rolf, Kaj. (2005). *Biologiskt erosionsskydd* [online] FoU-projekt S00-3097/08: Rapport. SLU Alnarp, Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik. Tillgänglig: <http://www4.banverket.se/raildokuffe/pdf/MO1535.pdf> [2012-05-10]
- SMHI. (2012-04-26). *Dygnsnederbörd de senaste 40 dyggen*.
<http://www.smhi.se/Klimatdata/Nederbörd/Dygnsnederbörd> [2012-04-30]

SMHI. (2012-04-25) *Sveriges klimat har blivit varmare och blötare.*

<http://www.smhi.se/Nyhetsarkiv/april2012> [2012-04-26]

Statens geotekniska institut (2012). *Jordarter* [online]

Tillgänglig: http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage____1098.aspx?epslanguage=SV
[2012-05-11]

Vägverket, Sektionen för geoteknik. (1987). *Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad.* [online]

Rapport. Vägverket. Publikation 1987:18. Tillgänglig:

http://publikationswebbutik.vv.se/upload/3884/1987_18_erosionsskydd_i_vatten_vid_vag_och_brobyggnad.pdf [2012-05-15]